

建筑工程测量

Jianzhu Gongcheng (第2版)
Celiang

主编 安德锋 邓荣榜 王 伟

主审 汪荣林 罗 琳

北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

建筑工程测量

(第2版)

主 编 安德锋 邓荣榜 王 伟
副主编 张国强 宋文德 路晓明 王 锦
参 编 张建伟 石乃敏 王 玲
主 审 汪荣林 罗 琳

内 容 提 要

本教材按照高等院校人才培养目标以及专业教学改革的需要,结合近年来建筑工程测量领域被广泛使用的新仪器、新技术、新方法进行编写。全书主要内容包括绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、全站仪及其使用、小区域控制测量、施工场区测量、施工测量的基本工作、建筑施工控制测量、民用建筑施工测量、工业建筑施工测量、建筑变形观测与竣工测量、线路测量与桥隧工程测量。

本教材可作为高等院校土建类相关专业的教材,也可作为函授和自考辅导用书,还可供建筑工程施工现场相关技术和管理人员工作时参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/安德锋,邓荣榜,王伟主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社,2013.1
ISBN 978-7-5640-7373-2

I. ①建… II. ①安… ②邓… ③王… III. ①建筑测量—高等教育—教材 IV.
①TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第019007号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京紫瑞利印刷有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/18

字 数/438千字

版 次/2013年1月第2版 2013年1月第1次印刷

定 价/46.00元

责任编辑/张慧峰

责任校对/杨 露

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

第1版前言

建筑工程测量属于工程测量学的范畴，在工程建设中有着广泛的应用，它服务于建筑工程建设的每一个阶段，贯穿于工程建设的始终。建筑用地的选择，道路管线位置的确定等，都要利用测量所提供的资料和图纸进行规划设计；施工阶段则需要通过测量工作来衔接，以配合各项工序的施工；竣工后的竣工测量，可为工程的验收、日后的扩建和维修管理提供资料；而在工程管理阶段，须对建筑物进行变形观测，以确保工程的安全使用。建筑工程测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量和进度，其地位举足轻重。

“建筑工程测量”作为高等院校土建类专业必修的基础性课程，主要阐述了需要学生掌握的建筑工程测量基本理论、基本方法和基本技能，培养学生的动手、实践与创新能力。本教材根据土建类专业教育标准和培养方案及主干课程教学大纲，以《工程测量规范》(GB 50026—2007)、《建筑变形测量规范》(JGJ 8—2007)为依据，以适应社会需求为目标，以培养技术能力为主线，在内容选择上考虑土建工程专业的深度和广度，以“必须、够用”为度，以“讲清概念、强化应用”为重点，深入浅出，注重实用。通过本课程的学习，学生应掌握建筑建筑工程测量的理论和方法，具备测绘地形图、建筑物放样、建筑物变形测量等的基本能力。

本教材共分13章，主要包括水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识、全站仪及GPS测量原理、小区域控制测量、地形图的测绘与应用、施工测量的基本工作、民用建筑施工测量、工业建筑施工测量、建筑变形测量与竣工总平面图的编绘、线路与桥隧工程测量、地籍测量等内容。教材中还简要介绍了常用建筑工程测量仪器、工具的基本构造与操作技巧，并通过具体的实例进行清晰的讲解，以提高学生学习的可操作性，加深学生对各知识点的理解。

为便于理解，本教材在采用文字进行阐述的同时，还列举了大量表格与图形配合进行说明，使枯燥无味的理论学习变得直观明了，方便教学的同时增强了学生的学习兴趣，从而达到理论联系实际、提高实用性的目的。

为方便教学，本教材在各章前设置了【学习重点】和【培养目标】，【学习重点】以章节提要的形式概括了本章的重点内容，【培养目标】则对需要学生了解和掌握的知识要

点进行了提示，对学生学习和老师教学进行引导；在各章后面设置了【本章小结】和【思考与练习】，【本章小结】以学习重点为框架，对各章知识作了归纳，【思考与练习】以问答题和应用题的形式，从更深的层次给学生提供思考和复习的切入点，从而构建了一个“引导—学习—总结—练习”的教学全过程。

本教材的编写人员，一是来自具有丰富教学经验的教师，因此教材内容更加贴近教学实际需要，方便“老师的教”和“学生的学”，增强了教材的实用性；二是来自建筑工程测量领域的工程师或专家学者，从而使教材的编写内容更加贴近建筑工程测量实践需要，保证了学生所学到的知识就是进行建筑工程测量所需要的知识，真正做到“学以致用”。

本教材以现行建筑工程测量最新国家及行业标准规范为依据进行编写，且编入了建筑工程测量领域的最新知识及发展趋势，充分体现了“新”字，不仅具有原理性、基础性，还具有先进性和现代性。另外，本教材的编写充分考虑了我国不同地域各高校的办学条件，淡化细节，强调对学生综合思维能力的培养，尤其是在工程测量实践能力的培养方面，更是进行了慎重考虑和认真选择。

本教材既可作为高等院校土建类相关专业的教材，也可作为土建工程测量人员、技术人员和管理人员学习、培训的参考教材。本教材在编写过程中，参阅了国内同行多部著作，部分高校教师提出了很多宝贵意见供我们参考，在此，对他们表示衷心的感谢！

本教材编写过程中，虽经推敲核证，但限于编者的专业水平和实践经验，仍难免有疏漏或不妥之处，恳请广大读者指正。

编 者

第2版前言

建筑工程测量是高等院校土建类相关专业的重要课程，重点讲述建筑工程测量的基础知识，常用测量仪器的构造与使用，角度、距离和高差的测量方法，地形图的测绘和使用，常见民用及工业建筑物施工测量方法以及变形观测等内容。

本教材第1版自2009年出版发行以来，经有关院校教学使用，反映较好。随着近年来工程测绘技术的迅速发展，全站仪、数字水准仪等电子仪器在工程测量工作中发挥出越来越重要的作用，测量数据的自动采集、利用计算机软件的数字化成图也逐步成为常规的工程测量方法。这些新仪器、新技术、新方法的广泛使用，不仅要求学生应具有更高的学习目标和能力目标，也要求本教材的内容能更好地反映当前高等教育教学工作需要。根据各院校使用者的建议，结合近年来高等教育教学改革的动态，我们对本教材进行了修订。

本教材的修订坚持以理论知识够用为度，遵循“立足实用、打好基础、强化能力”的原则，以培养面向生产第一线的应用型人才为目的，强调提升学生的实践能力和动手能力。本次修订在保留原教材必需的测绘基础知识和理论知识的基础上，删去其中与建筑工程测量相关性不大的内容，重点对近年来建筑工程测量领域广泛使用的新仪器、新技术、新方法进行了必要的补充，从而强化了教材的实用性和可操作性。各章“思考与练习”部分增加填空题、选择题与计算题，有利于学生课后复习参考，强化应用所学理论知识解决工程实际问题的能力。

本教材修订后共包括绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、全站仪及其使用、小区域控制测量、施工场区测量、施工测量的基本工作、建筑施工控制测量、民用建筑施工测量、工业建筑施工测量、建筑物变形观测与竣工测量、线路测量与桥隧工程测量十三章内容。

本教材由安德锋、邓荣榜、王伟担任主编，张国强、宋文德、路晓明、王锦担任副主编，张建伟、石乃敏、王玲参与编写，汪荣林、罗琳担任主审。本教材在修订过程中，参

阅了国内同行多部著作，部分高等院校教师提出了很多宝贵意见供我们参考，在此表示衷心的感谢！对于参与本教材第1版编写但未参加本次修订的教师、专家和学者，本版教材所有编写人员向你们表示敬意，感谢你们对高等教育改革所做出的不懈努力，希望你们对本教材保持持续关注并多提宝贵意见。

限于编者的学识及专业水平和实践经验，修订后的教材仍难免有疏漏或不妥之处，恳请广大读者指正。

编 者

目 录

第一章 绪论 / 1

- 第一节 建筑工程测量概述 / 1
- 第二节 地面点位的确定 / 2
- 第三节 测量工作的基本程序和原则 / 9
- 第四节 测量误差的基础知识 / 10

第二章 水准测量 / 21

- 第一节 水准测量原理 / 21
- 第二节 水准测量仪器和工具 / 23
- 第三节 水准测量方法 / 30
- 第四节 水准测量成果处理 / 35
- 第五节 自动安平水准仪、精密水准仪和电子水准仪 / 40

第三章 角度测量 / 47

- 第一节 角度测量原理 / 47
- 第二节 光学经纬仪及其使用 / 48
- 第三节 水平角测量方法 / 54
- 第四节 竖直角测量方法 / 56
- 第五节 水平角测量误差及注意事项 / 58
- 第六节 电子经纬仪 / 60

第四章 距离测量与直线定向 / 65

- 第一节 钢尺量距 / 65
- 第二节 视距测量 / 70
- 第三节 光电测距 / 72
- 第四节 直线定向 / 77

第五章 全站仪及其使用 / 83

- 第一节 全站仪概述 / 83
- 第二节 全站仪的结构与功能 / 86
- 第三节 全站仪测量方法 / 89

第六章 小区域控制测量 / 100

- 第一节 控制测量概述 / 100
- 第二节 导线测量 / 102
- 第三节 三角形网测量 / 113
- 第四节 GPS定位测量 / 116
- 第五节 交会测量 / 123

第六节 高程测量控制 / 125

第七章 施工场区测量 / 133

第一节 地形图基本知识 / 133

第二节 大比例尺地形图测绘 / 144

第三节 地形图的应用 / 153

第八章 施工测量的基本工作 / 166

第一节 施工测量概述 / 166

第二节 施工测设的基本工作 / 168

第三节 点的平面位置的测设 / 172

第四节 已知坡度线的测设 / 175

第九章 建筑施工控制测量 / 179

第一节 施工控制网概述 / 179

第二节 建筑基线 / 181

第三节 建筑方格网 / 183

第四节 施工场地高程控制测量 / 188

第十章 民用建筑施工测量 / 191

第一节 测量前的准备工作 / 191

第二节 民用建筑物的定位与放线 / 194

第三节 建筑物基础施工测量 / 197

第四节 墙体工程施工测量 / 199

第五节 高层建筑施工测量 / 200

第十一章 工业建筑施工测量 / 207

第一节 工业厂房控制网和柱列轴线的测设 / 207

第二节 基础施工测量 / 210

第三节 工业厂房构件的安装测量 / 212

第四节 烟囱施工测量 / 216

第十二章 建筑变形观测与竣工测量 / 221

第一节 建筑变形观测概述 / 221

第二节 建筑物的沉降观测 / 222

第三节 建筑物的位移观测 / 227

第四节 建筑物的特殊变形观测 / 234

第五节 建筑工程竣工测量 / 237

第十三章 线路工程测量与桥隧工程测量 / 241

第一节 线路工程测量 / 241

第二节 桥梁工程测量 / 267

第三节 隧道工程测量 / 269

参考文献 / 279

第一章 绪 论

能力目标

1. 能够确定地面点的平面位置和高程位置。
2. 能够根据测量工作的基本程序和原则实施测量工作。
3. 能够进行测量精度评定。

知识目标

1. 了解测量学的定义及分类，理解建筑工程测量的任务和作用。
2. 理解测量工作的基准面和基准线，掌握确定地面点位和高程的方法。
3. 了解地面点的坐标、空间直角坐标系、用水平面代替水准面的范围。
4. 熟悉测量工作的基本程序和原则。
5. 了解测量误差的产生原因及分类，熟悉衡量测量精度的指标，理解误差传播定律。

第一节 建筑工程测量概述

一、测量学的定义及分类

测量学是研究地球的形状与大小，确定地面点之间的相对位置的科学。其主要内容包括测定和测设两个部分。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，将地球表面的地形缩绘成地形图，供科学研究、工程规划和国防建设使用。测设是指把地形图上规划设计好的建筑物、构筑物的位置标定到实地，作为工程施工的依据。

按研究的对象和应用的不同，测量学通常可分为以下几个分支学科：

(1)普通测量学。研究将地球自然表面局部地区的地物和地貌按一定比例尺测绘成大比例尺地形图的基本理论和方法的学科，属测量学的基础部分。

(2)大地测量学。研究地球形状、大小和重力场及其变化，通过建立区域和全球三维控制网、重力网及利用卫星测量等方法测定地球各种动态的理论和技术的学科。

(3)摄影测量学。研究利用摄影或遥感技术获取地物和地貌的影像并进行分析处理，以绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科。其中航空摄影测量是测绘中、小比例尺国家基本地形图的主要方法，现也应用到大比例尺地形图的测绘中；而近景摄影测量已经在古建筑测绘、建(构)筑物的变形观测、动态目标测量等许多方面得到了广泛的应用。

(4)工程测量学。研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制测量、地形测绘、施工放样、变形监测及建立相应信息系统的理论和技术的学科。其主要内容包括：测绘满足工程规划和勘察设计需要的大比例尺地形图；将图纸上设计的建(构)筑物轴线桩位

标定到地面上；对在施工过程中及竣工后建(构)筑物的变形进行监测。

(5)海洋测绘学。研究海洋定位，测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布，及编制各种海图的理论和技术的学科。其主要内容包括海洋大地测量、水深测量、海底地形测量、海洋重力测量、海岸地形测量、海道测量、海洋专题测量和海图测绘等。

二、建筑工程测量的任务

建筑工程测量属于工程测量学的范畴，它是建筑工程在勘测设计、施工建设和组织管理等阶段，应用测量仪器和工具，采用一定的测量技术和方法，根据工程施工进度和质量要求，完成应进行的各种测量工作。建筑工程测量的主要任务是：

(1)大比例尺地形图的测绘。在规划设计阶段，应测绘建筑工程所在地区的大比例尺地形图，以便详细地表达地物和地貌的现状。在施工阶段，有时需要测绘更详细的局部地形图，或者根据施工现场变化的需要，测绘反映某施工阶段现状的地形图。在竣工验收阶段，应测绘编制全面反映工程竣工时所有建筑物、道路、管线和园林绿化等方面现状的地形图。

(2)建(构)筑物的放样。在施工阶段，不管是基础工程、主体工程还是装饰工程，都要先进行放样测量，确定建(构)筑物不同部位的实地位置，并用桩点或线条标定出来，然后才能进行施工。每道工序施工完成后，还要及时对施工各部位的尺寸、位置和标高进行检核测量。

(3)建(构)筑物的变形观测。对一些大型的、重要的或位于不良地基上的建(构)筑物，需要测定其在建(构)筑物荷重和外力作用下随时间而发生的变形，以监测其稳定性。建(构)筑物的变形一般有沉降、水平位移、倾斜、裂缝等。

三、建筑工程测量的作用

建筑工程测量在工程建设中有着广泛的应用，它服务于工程建设的每一个阶段。

(1)在工程勘测阶段，测绘地形图为规划设计提供各种比例尺的地形图和测绘资料。

(2)在工程设计阶段，应用地形图进行总体规划和设计。

(3)在工程施工阶段，要将图纸上设计好的建筑物、构筑物的平面位置和高程按设计要求测设于实地，以此作为施工的依据；在施工过程中用于土方开挖、基础和主体工程的施工测量；在施工中还要经常对施工和安装工作进行检验、校核，以保证所建工程符合设计要求；工程竣工后，还要进行竣工测量，施测竣工图，供日后扩建和维修之用。

(4)在工程管理阶段，对建筑物和构筑物进行变形观测，以保证工程的安全使用。

总而言之，在工程建设的各个阶段都需要进行测量工作，而且测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量和进度。

第二节 地面点位的确定

一、地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面。地球的自然表面极为复杂，有高山、丘

陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等高低起伏的形态，其中最高的珠穆朗玛峰高出海水面达 8 844.43 m，而最低的马里亚纳海沟低于海水面达 11 034 m。但是这样的高低起伏，相对于地球巨大的半径来说还是很小的，仍可忽略不计。由于地球表面上海洋的面积约占 71%，而陆地面积仅占 29%，因此人们设想有一个静止的海水面，向陆地延伸包围整个地球，形成一个封闭的曲面，把这个曲面看作地球的形体。

由于潮汐的作用，海水面高低不同，假定其中有一个平均高度的静止海水面，则它所包围的形体称为大地体，代表了地球的形状与大小。我们把这个平均高度的静止的海水面称为大地水准面。大地水准面上的重力位处处相等，并与其上的重力方向处处保持着正交。地球上任何一点都要受到地球引力和地球自转的离心力的作用，这两个力的合力称为重力，重力的方向线称为铅垂线，所以水准面处处与铅垂线正交。铅垂线是测量工作的基准线，大地水准面是测量工作的基准面。

然而，由于地球内部质量分布不均匀，引起铅垂线的方向产生不规则的变化，致使大地水准面成为一个不规则的复杂曲面[图 1-1(a)]，所以无法在这个曲面上进行测量数据的处理。为了使用方便，通常用一个非常接近于大地水准面，并可用数学式表示的几何形体(即地球椭球)来代替地球的形状作为测量计算工作的基准面，如图 1-1(b)所示。

地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体，故地球椭球又称旋转椭球。旋转椭球体由长半径 a 和短半径 b (或扁率 α) 决定，如图 1-2 所示。其关系为

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

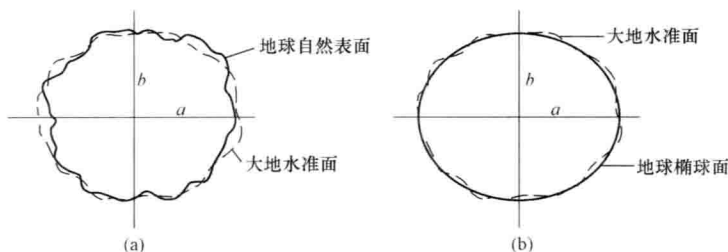


图 1-1 大地水准面与地球椭球面

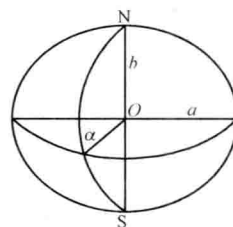


图 1-2 参考椭球面

目前我国采用的地球椭球体元素值是 1975 年“国际大地测量与地球物理联合会”(IUGG)通过并推荐的值：

$$a=6\,378\,140\text{ m}, b=6\,356\,755\text{ m}, \alpha=1:298.253$$

由于地球椭球的扁率很小，因此当测区范围不大时，可近似地把地球椭球看作半径为 6 371 km 的圆球。

二、地面点位置的坐标系

为了确定地面点的位置，需要建立坐标系。在测量工作中，可用地理坐标系和平面直角坐标系表示地面点位置的坐标系。

1. 地理坐标系

地理坐标系是用经纬度表示地面点位置的球面坐标，可分为天文坐标系和大地坐标系。

(1)天文坐标系。天文坐标系是表示地面点在大地水准面上的位置，其基准是铅垂线和大地水准面，它用天文经度 λ 和天文纬度 φ 两个参数来表示地面点在球面上的位置。

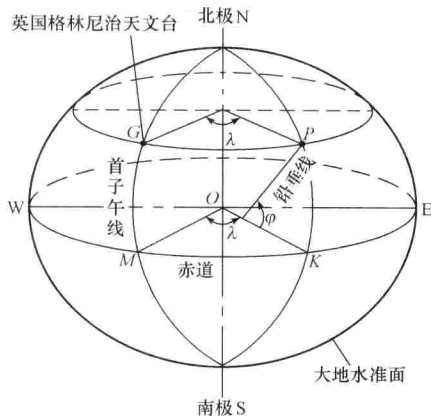


图 1-3 天文坐标系

过地面上任一点 P 的铅垂线与地球的旋转轴 NS 所组成的平面称为该点的天文子午面，天文子午面与大地水准面的交线称为天文子午线（也称经线），如图 1-3 所示。设 G 点为英国格林尼治天文台的位置，过 G 点的天文子午面称为首子午面。

P 点天文经度 λ 的定义是：过 P 点的天文子午面 $NPKS$ 与首子午面 $NGMS$ 的两面角，从首子午线向东或向西计算，取值范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，在首子午线以东者为东经，以西者为西经。同一子午线上各点的经度相同。过 P 点垂直于地球旋转轴的平面与地球表面的交线称为 P 点的纬线，其所在平面过球心 O 的纬线称为赤道。

P 点天文纬度 φ 的定义是：过 P 的铅垂线与赤道平面的夹角，自赤道起向南或向北计算，取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，在赤道以北为北纬，以南为南纬。

应用天文测量方法可以测定地面点的天文经度 λ 和天文纬度 φ 。

(2)大地坐标系。大地坐标系是表示地面点在参考椭球面上的位置，其基准是法线和参考椭球面，它用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。

P 点的大地经度 L 是通过该点的子午面与首子午面的夹角，在首子午面以东的点从首子午面向东计， $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经，在首子午面以西的点则从首子午面向西计， $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。我国地处东半球，各地的经度都是东经。

过 P 点作子午线的法线，该法线与赤道面的交角 B 即为 P 点的大地纬度，在赤道以北的点由赤道向北计， $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬；在赤道以南的点由赤道向南计， $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。我国地处北半球，各地的纬度都是北纬。

2. 平面直角坐标系

在工程测量中为了使用方便，常采用平面直角坐标系来表示地面点位，下面主要介绍常用的两种平面直角坐标系。

(1)高斯平面直角坐标系。当测区范围较小时，可把地球表面当作平面来看待。而当测区范围较大时，就不能把地球上很大一块表面当平面看待，这时，要用平面直角坐标来表示地面点，必须采用适当的地图投影方法。按一定数学法则，把参考椭球面上的点、线投影到平面上的方法叫作地图投影，投影的方法有多种，我国采用的是高斯投影。

高斯投影首先是将地球按经线划分成带，称为投影带，投影带是从首子午线起，每隔经度 6° 划分为一带（称为 6° 带），如图 1-4 所示，自西向东将整个地球划分为 60 个带。带号从首子午线开始，用阿拉伯数字表示，位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线。第一个 6° 带的中央子午线的经度为 3° ，任意一个带中央子午线经度 L_0 与投影带号 N 的关系为：

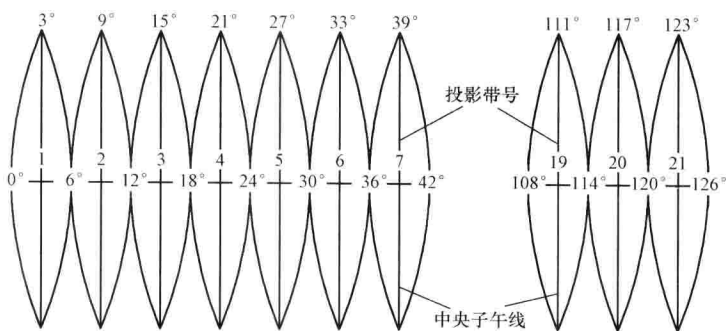


图 1-4 6°带中央子午线及带号

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-2)$$

反之，已知地面任一点的经度 L ，要求计算该点所在的 6°带编号的公式为

$$N = \text{Int}\left(\frac{L+3}{6} + 0.5\right) \quad (1-3)$$

式中 Int——取整函数。

投影时设想用一个平面卷成一个空心椭圆柱，把它横着套在地球参考椭球体外面，使空心椭圆柱的中心轴线位于赤道面内并且通过球心，使地球椭球体上某条 6°带的中央子午线与椭圆柱面相切。在图形保持等角的条件下，将整个带投影到椭圆柱面上，如图 1-5(a)所示。然后将此椭圆柱沿着南北极的母线剪切并展开抚平，便得到 6°带在平面上的形状，如图 1-5(b)所示。由于分带很小，投影后的形状变形也很小，离中央子午线越近，变形就越小。

在由高斯投影而成的平面上，中央子午线和赤道保持为直线，两者互相垂直。以中央子午线为坐标系纵轴 X ，以赤道为横轴 Y ，其交点为 O ，便构成此带的高斯平面直角坐标系，如图 1-6 所示。在这个投影面上的每一点位置，都可用直角坐标 x 、 y 确定。此坐标与地理坐标的经纬度 L 、 B 是对应的，它们之间有严密的数学关系，可以互相换算。

如图 1-6 所示，高斯平面直角坐标纵坐标以赤道为零起算，赤道以北为正，以南为负，我国位于北半球，纵坐标均为正值。横坐标如以中央子午线为零起算，则中央子午线以东为正，以西为负，由于横坐标出现负值，使用不便，故规定将坐标纵轴西移 500 km 当作起始轴，凡是带内的横坐标值均加 500 km。

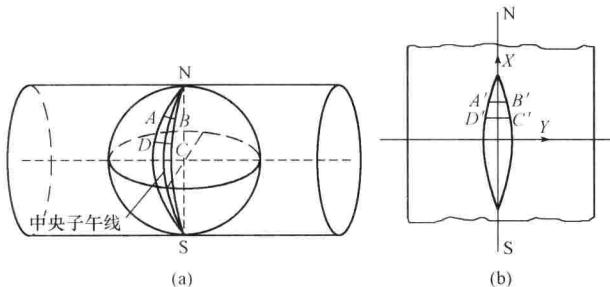


图 1-5 高斯平面直角坐标的投影

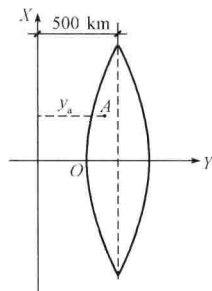


图 1-6 高斯平面直角坐标系

高斯投影属于正形投影的一种，它保证了球面图形的角度与投影后平面图形的角度不变，但球面上任意两点间的距离经投影后会产生变形，其规律是：除中央子午线没有距离

变形以外，其余位置的距离均变长。

距离变形过大对于测图，尤其是测绘大比例尺地形图是不方便的。减小投影带边缘位置距离变形的的方法之一就是缩小投影带的带宽，例如可以选择采用 3° 带和 1.5° 带进行投影，其中， 3° 带每带中央子午线经度 L'_0 与投影带号 n 的关系为

$$L'_0 = 3n \quad (1-4)$$

反之，已知地面任一点的经度 L ，要求计算该点所在的 3° 带编号的公式为

$$n = \text{Int}\left(\frac{L}{3} + 0.5\right) \quad (1-5)$$

我国领土所处的大概经度范围是东经 $73^\circ 27'$ 至东经 $135^\circ 09'$ ， 6° 带投影与 3° 带投影的带号范围分别为 $13 \sim 23$ 与 $25 \sim 45$ 。可见，在我国领土范围内， 6° 带与 3° 带的投影带号不重复。

(2) 独立平面直角坐标系。大地水准面虽是曲面，但当测量区域(如半径不大于 10km 的范围)较小时，可以用测区中心点 a 的切平面来代替曲面。如图 1-7(a) 所示，地面点在投影面上的位置就可以用平面直角坐标来确定。测量工作中采用的平面直角坐标如图 1-7(b) 所示。规定南北方向为纵轴，并记为 X 轴， X 轴向北为正，向南为负；东西方向为横轴，并记为 Y 轴， Y 轴向东为正，向西为负。地面上某点 P 的位置可用 x_p 和 y_p 来表示。

平面直角坐标系中象限按顺时针方向编号， X 轴与 Y 轴互换，这与数学上的规定是不同的，其目的是为了定向方便，将数学中的公式直接应用到测量计算中，不需作任何变更。原点 O 一般选在测区的西南角[图 1-7(a)]，使测区内各点的坐标均为正值。

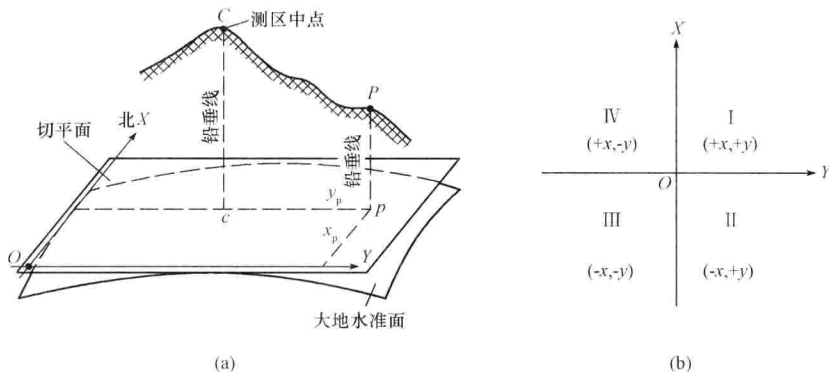


图 1-7 独立平面直角坐标系原理图

三、地面点高程位置的确定

1. 绝对高程

地面点到大地水准面的铅垂距离，称为该点的绝对高程，简称高程，或称海拔，用 H 表示，如图 1-8 所示。地面点 A 、 B 点的绝对高程分别为 H_A 、 H_B 。

目前，我国以在青岛观象山验潮站 1952—1979 年验潮资料确定的黄海平均海水面作为起算高程的基准面，称为“1985 国家高程基准”。以该大地水准面为起算面，其高程为零。为了便于观测和使用，在青岛建立了我国的水准原点(国家高程控制网的起算点)，其高程为 72.260m，全国各地的高程都以它为准进行测算。

2. 相对高程

当测区附近尚无国家水准点，而引测绝对高程有困难时，可采用假定高程系统，即假定一个水准面作为高程基准面，这种由任意水准面起算的地面点高程即地面点至任意水准面的铅垂距离，称为相对高程，也叫假定高程。如图 1-8 所示，A、B 的相对高程为 H'_A 、 H'_B 。有时为了使用方便，在某些工程测量中也常使用相对高程。

3. 高差

地面两点间的绝对高程或相对高程之差称为高差，用 h_{AB} 表示，如图 1-9 所示。如 A、B 两点高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-6)$$

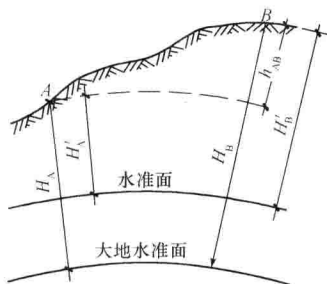


图 1-8 地面点的高程

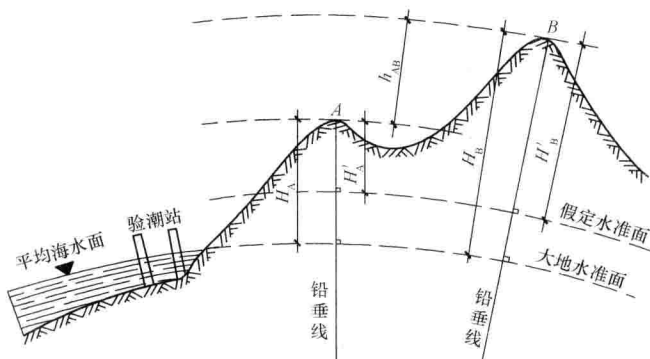


图 1-9 高程与高差

从已知高程点对未知点进行高程测量时，都是先求出两点间的高差，从而计算出未知点的高程。未知点比已知点高，其高差为正；反之，高差为负。

四、用水平面代替水准面的限度

在测量中，当测区范围较小时，可将大地水准面近似视为水平面，这样，既可以简化测量计算工作，又不致因曲面和平面的差异过大而产生较大的测量误差。然而，测区范围小到何值时，用水平面代替大地水准面所产生的距离和高差变形才不会超过测量误差的允许范围呢？下面，将重点讨论用水平面代替大地水准面对水平距离和高程测量的影响。

1. 对水平距离的影响

如图 1-10 所示，设地面 C 为测区中心点，P 为测区内任一点，两点沿铅垂线投影到大地水准面上的点分别为 c 点和 p 点。过 c 点做大地水准面的切平面，P 点在切平面上的投影为 p' 点。图中大地水准面的曲率对水平距离的影响为 $\Delta D = D' - D$ 。由于 $D' = R \tan \theta$ ， $D = R \theta$ ，则有

$$\Delta D = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-7)$$

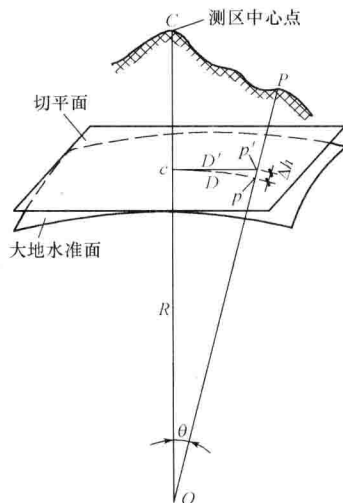


图 1-10 切平面代替大地水准面的影响

将 $\tan\theta$ 用泰勒级数展开, 即

$$\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$$

由于考虑用切平面代替球面是在较小的局部地区, 所以 θ 角很小, 上式中省略高次项, 只取前两项, 代入式(1-7)得

$$\Delta D = \frac{1}{3}R\theta^3$$

以 $\theta=D'/R$ 代入上式, 因 D' 与 D 相差很小, 以 D 代替 D' , 得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \tag{1-8}$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1-9}$$

以地球半径 $R=6\,371\text{ km}$ 及不同的距离 D 代入式(1-9)中, 可得到表 1-1 所列的结果。

表 1-1 切平面代替大地水准面对距离的影响

D/km	$\Delta D/\text{cm}$	$\Delta D/D$
10	0.82	1 : 1 217 600
20	6.57	1 : 304 400
50	102.65	1 : 48 700

由表 1-1 可知, 当水平距离为 10 km 时, 用切平面代替大地水准面所产生的误差为距离的 1/1 217 600, 而目前最精密的量距误差为距离的 1/1 000 000。所以在半径为 10 km 的测区范围内进行距离测量时, 可以把切平面当作大地水准面, 不必考虑地球曲率的影响。

2. 对高程的影响

由图 1-10 可知

$$\Delta h = \overline{Op'} - \overline{Op} = R\sec\theta - R = R(\sec\theta - 1) \tag{1-10}$$

将 $\sec\theta$ 按三角级数展开并略去高次项得

$$\sec\theta = 1 + \frac{1}{2}\theta^2 + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots \approx 1 + \frac{1}{2}\theta^2 \tag{1-11}$$

将式(1-11)代入式(1-10), 得

$$\Delta h = R(1 + \frac{1}{2}\theta^2 - 1) = \frac{R}{2}\theta^2 = \frac{D^2}{2R} \tag{1-12}$$

用不同的距离代入式(1-12), 可得表 1-2 所列的结果。

表 1-2 用水平面代替水准面对高程的影响

距离 D/km	0.05	0.1	0.5	1	2	5	10
高程误差 $\Delta h/\text{cm}$	0.02	0.08	2	8	31	196	785

由表 1-2 可知, 当用水平面代替水准面时, 对高程的影响是较大的, 如在 500 m 的距离时高程误差就有 2 cm。进行高程测量时, 观测精度要比之高得多。因此, 对高程测量来说, 必须顾及地球曲率对高程的影响, 不得用水平面代替大地水准面。